

DOI 10.33099/2618-1614-2022-20-3-4-11-16

УДК 623.683:351.86

**М. В. Коваль,***доктор військових наук, начальник Національного університету оборони України, генерал-полковник,***В. В. Коваль,***кандидат військових наук, старший науковий співробітник, заступник начальника Генерального штабу Збройних Сил України, генерал-майор,***В. І. Коцюруба,***доктор технічних наук, професор, професор кафедри оперативного та бойового забезпечення, Національний університет оборони України, полковник,***А. С. Білик,***кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, Київський національний університет будівництва та архітектури*

## Організаційно-технічні засади побудови системи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України

У статті висвітлене питання захисту об'єктів критичної інфраструктури від засобів ураження противника. Розглянуто організаційний і технічний аспекти побудови дієвої системи інженерного захисту. Виділено структурно-логічну схему розподілу повноважень щодо організації інженерного захисту між суб'єктами, залученими до захисту об'єктів критичної інфраструктури. Згідно з розробленим авторами принципом «Країна-фортеця» запропоновані три типи інженерного захисту об'єктів та етапи їх поступової реалізації. Крім того, запропонований розподіл елементів об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі за пріоритетністю з інженерного захисту.

*Ключові слова:* енергетична галузь, об'єкт критичної інфраструктури, елемент, інженерний захист, засоби повітряного нападу, крилата ракета, дрон-камікадзе.

© М. В. Коваль, В. В. Коваль, В. І. Коцюруба, А. С. Білик, 2022

Збройна агресія Російської Федерації (РФ) становить найбільший виклик для національної безпеки України за весь час незалежності нашої держави. Унаслідок атак на території України вже уражена досить велика кількість об'єктів критичної інфраструктури, зокрема об'єднаної електроенергетичної, газотранспортної системи і нафтовидобувної промисловості України. Зовнішніми факторами, що характеризують загострення проблеми глобалізації наслідків руйнування об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) України, є: інтенсифікація застосування різноманітних засобів повітряного нападу; вибіркове ураження боєприпасами найважливіших критичних елементів об'єктів критичної інфраструктури; застосування країною-агресором закордонних високоточних засобів повітряного нападу. Уже немає сумнівів, що цей конфлікт тривалий, а перемога України у війні означає не лише повернення всіх загарбаних територій [1].

**Постановка проблеми.** Уже очевидно, що неминуча відбудова країни відбуватиметься за умов забезпечення максимального збереження ключових функцій в умовах перманентних військових загроз – як прямого вторгнення, так і опосередкованих: ракетних ударів, терактів, диверсій, кібернетичних та інформаційних атак тощо [1]. Такі виклики вимагають асиметричних відповідей, довгострокової візії та програм на рівні держави. Убачається, що побудова ефективної системи захисту об'єктів критичної інфраструктури є пріоритетним завданням держави. На жаль, на сьогодні вести розмову про достатній рівень захисту критичної інфраструктури зарано. Проблемним є як активний, так і пасивний захист, основу якого становить інженерне обладнання ОКІ. Сьогодні ця проблема розглядається як загальносвітова, оскільки масштаби застосування засобів повітряного нападу РФ по ОКІ України не мають аналогів, демонструючи тенденції та виклики війн майбутнього.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** Питанням захисту ОКІ присвячена значна кількість наукових досліджень та публікацій. Досить повно питання захисту критичної інфраструктури у країнах Європи розглядається в роботі [2], що поєднує три основні напрями: захист від загроз у сфері державної безпеки (вони можуть охоплювати внутрішні загрози та фізичне знищення ОКІ); захист від кіберзагроз; захист від надзвичайних ситуацій. Масоване застосування противником засобів повітряного нападу по ОКІ розглядалося раніше як малоімовірна перспектива розв'язання збройного конфлікту на території України. При цьому поняття «інженерний захист» використовувалося переважно в працях та керівних документах із цивільного захисту [3]. У теорії воєнного мистецтва інженерну підтримку підвищення живучості і безпеки застосування військ (сил) та об'єктів в операціях (бойових діях) передбачається здійснювати шляхом «інженерного обладнання районів, позицій та рубежів» [4]. Однак у предметній галузі вказані поняття перетинаються та набувають оновленого змісту, що потребує проведення

додаткових наукових досліджень, вироблення дієвої системи інженерного захисту ОКІ, спрямованої на забезпечення стійкого функціонування енергетичної галузі України в умовах сучасних загроз.

**Метою** статті є висвітлення розроблених наукових і практичних результатів упровадження перспективної системи інженерного захисту ОКІ енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника за принципом «Країна-фортеця».

**Виклад основного матеріалу.** Під інженерним захистом ОКІ енергетичної галузі розумітимемо сукупність заходів з інженерного обладнання елементів ОКІ з метою підвищення їхньої живучості, безпеки персоналу та стійкого функціонування електроенергетичної та газотранспортної систем, нафтовидобувної промисловості держави в інтересах забезпечення життєвих потреб суспільства.

Принцип «Країна-фортеця» є визначальним у запропонованій авторами концепції побудови перспективної системи інженерного захисту ОКІ. Така система покликана забезпечити інтегральний захист території, об'єктів, громадян та суспільства загалом від засобів повітряного нападу. У практичній площині це означає насамперед прикриття ОКІ, цивільний захист, стійкість систем життєзабезпечення, безпеку міського середовища тощо. Концепція побудови перспективного інженерного захисту ОКІ ґрунтується на розумінні явищ і процесів застосування противником засобів повітряного нападу та містить сукупність поглядів щодо характеру, обсягів і послідовності організації та виконання заходів інженерного обладнання найважливіших елементів ОКІ.

Концепцію передбачається реалізувати впродовж 2023–2027 рр. За термінами досягнення цілей організаційно-технічні заходи доцільно розподілити на такі етапи: короткострокові (першочергові) – до одного місяця; середньострокові – до одного року; довгострокові – два-п'ять років (рис. 1).

Метою короткострокових (першочергових) заходів інженерного захисту є зменшення ймовірності ураження основних елементів ОКІ від уламкової та фугасної дії продуктів вибуху засобів повітряного нападу противника. До короткострокових (першочергових) організаційно-технічних заходів віднесені:

- планування характеру та обсягів інженерного обладнання ОКІ на основі аналізу прогнозних оцінок щодо можливого застосування противником засобів повітряного нападу;
- розробка індивідуальних або типових інженерно-технічних рішень щодо інженерних споруд першої черги інженерного обладнання елементів ОКІ;
- забезпечення потрібними матеріально-технічними засобами (включно з підручними матеріалами) та іншими ресурсами;
- зведення інженерних споруд зі складанням технічної документації та обліку матеріальних засобів;
- експлуатація інженерних споруд з урахуванням технологічних вимог ОКІ;
- ліквідація наслідків повітряних ударів противника та відновлення зруйнованих інженерних споруд на ОКІ.

Метою середньострокових заходів інженерного захисту слід вважати мінімізацію збитку від ураження ОКІ шляхом зведення надповерхневих інженерних споруд підвищеного ступеня захисту. До середньострокових організаційно-технічних заходів віднесені:

- проектування інженерних споруд підвищеного ступеня захисту для інженерного обладнання елементів ОКІ;
- виготовлення елементів інженерних споруд підвищеного ступеня захисту;
- забезпечення потрібними матеріально-технічними засобами;
- зведення інженерних споруд підвищеного ступеня захисту зі складанням технічної документації та обліку матеріальних засобів;
- експлуатація інженерних споруд на ОКІ;

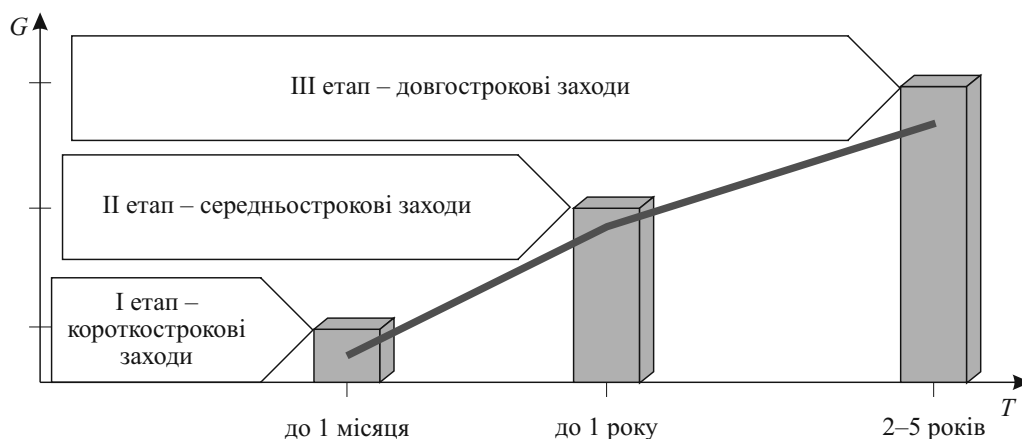


Рис. 1. Очікуваний приріст живучості ОКІ відповідно до етапів реалізації концепції інженерного захисту ОКІ енергетичної галузі України

- створення системи активного захисту з використанням технічних засобів завчасного виявлення і попередження та інженерних боєприпасів;
- виконання інженерних заходів з уведення противника в оману шляхом демонстративних дій щодо наслідків повітряних ударів;
- ліквідація наслідків повітряних ударів противника та відновлення зруйнованих інженерних споруд;
- здійснення контролю заходів з удосконалення інженерного обладнання ОКІ другої черги.

Метою довгострокових заходів інженерного захисту є унеможливлення ураження ОКІ в разі прямого влучання в них засобами повітряного нападу шляхом підземної урбанізації з опорою на існуючу забудову та перенесенням технологічного обладнання до підземних захисних приміщень. До довгострокових організаційно-технічних заходів належать:

- проектування підземних інженерних споруд для інженерного обладнання елементів ОКІ;
- забезпечення потрібними матеріально-технічними засобами;
- зведення підземних інженерних споруд з максимальною опорою на існуючу забудову місцевості зі складанням технічної документації та обліку матеріальних засобів;
- демонтаж та перенесення технологічного обладнання до підземних інженерних споруд;
- експлуатація інженерних споруд на об'єктах критичної інфраструктури;
- здійснення контролю заходів з удосконалення інженерного обладнання ОКІ третьої черги.

Аналоги подібної концепції вже започатковані в Норвегії, Швеції, Швейцарії, США, Китаї та інших країнах [5–8]. Проте в таких масштабах, як в Україні (за рівнем загроз, кількістю уражень ОКІ, потребою захисту), проблема розглядається вперше. Виходячи з викладеного, слід виокремити організаційний і технічний аспекти побудови дієвої системи інженерного захисту ОКІ.

Ґрунтовне вивчення питання формалізації процесу розподілу функцій щодо захисту ОКІ між суб'єктами [9] свідчить про недостатню деталізацію розподілу відповідальності за реалізацію конкретних заходів зазначеного процесу, а отже, й відсутність ефективної організації належного інженерного захисту ОКІ. Авторами була запропонована структурно-логічна схема розподілу повноважень щодо організації інженерного захисту між суб'єктами ОКІ (рис. 2). Упровадження запропонованого розподілу заходів між суб'єктами ОКІ дало змогу уточнити сфери відповідальності, порядок взаємодії та уникнути дублювання функціональних обов'язків, що вможливить підвищення ефективності інженерного захисту загалом. Згідно із запропонованим підходом передбачається функціональний розподіл одинадцяти заходів, для реалізації яких у відповідних комбінаціях безпосереднього виконання залучаються дев'ять суб'єктів захисту критичної інфраструктури енергетичної галузі України.

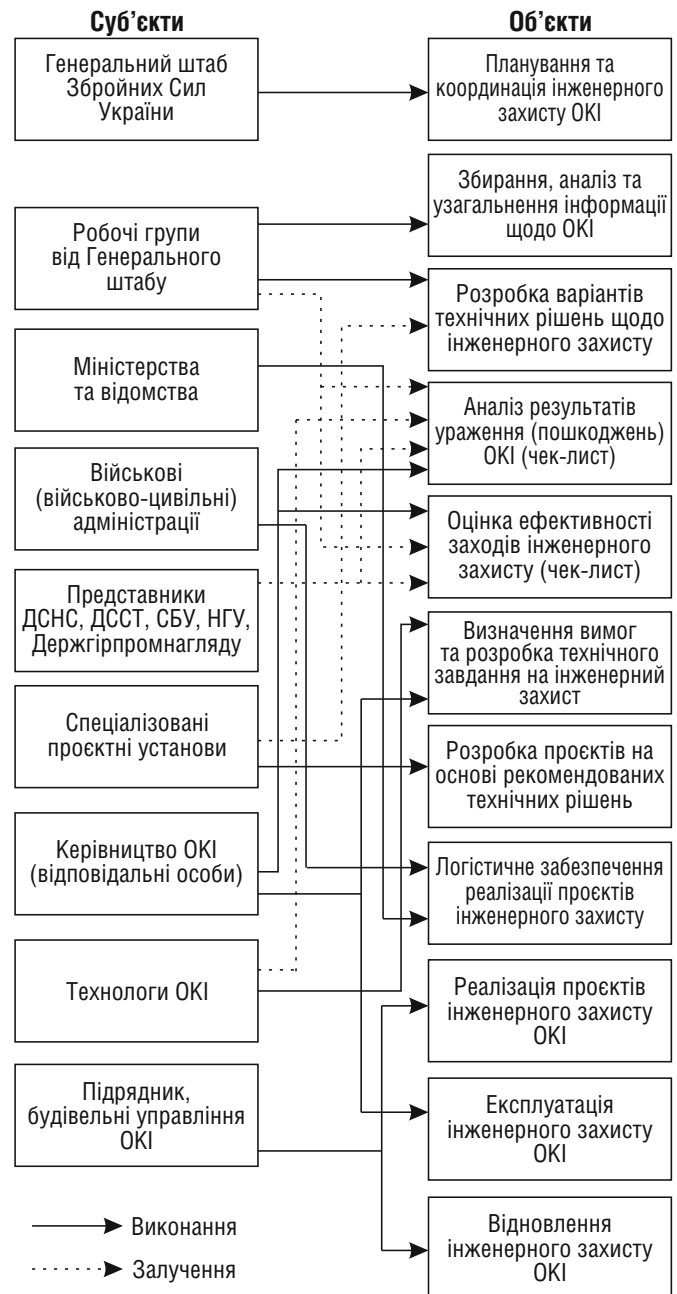


Рис. 2. Структурно-логічна схема розподілу повноважень щодо організації інженерного захисту між суб'єктами

Технічна складова розробленої концепції інженерного захисту ОКІ за принципом «Країна-фортеця» полягає в одночасному, оперативному та широкомасштабному впровадженні максимально ефективних і мінімально витратних заходів інженерного обладнання основних елементів ОКІ для поетапного забезпечення їх максимального рівня захисту від існуючих та перспективних засобів повітряного нападу противника.

У частині інженерного обладнання концепцією передбачений передусім інженерний захист ОКІ, які згідно

з [10] належать до споруд класу наслідків ССЗ, мають першу або другу категорію критичності згідно з [9].

Водночас кожен ОКІ має переважно індивідуальну або типову сукупність елементів, об'єднаних забезпеченням єдиного головного функціоналу, і складається з устаткування та споруд, які мають різний ступінь важливості. Дослідження підходів провідних країн світу [2] до розуміння критичної інфраструктури, а також практична робота на вітчизняних ОКІ енергетичної галузі підтвердили потребу її сприйняття як комплексної системи, що має побудову мережі, яка охоплює окремі елементи й ланцюжок з'єднань (окремих пов'язаних елементів). Місця з'єднань елементів ланцюжків утворюють вузол. Пошкодження чи руйнування одного з вузлів впливає на діяльність інших та може призвести до повалення всієї критичної інфраструктури. Тому в інтересах захисту ОКІ потрібно захищати такі елементи [2].

Головним показником для оцінювання стійкості ОКІ та фінансових втрат у разі його пошкодження є час, необхідний для відновлення нормального функціонування ОКІ після дії на нього певної загрози ураження. Тобто чим менший час відновлення ОКІ, тим більшою є його стійкість до впливу загрози [11]. З огляду на зазначене було запропоновано визначати категорії важливості елементів ОКІ таким чином.

**Категорія А** – конструкції та елементи ОКІ, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації ОКІ загалом або значної його частини, а відновлення триває понад три тижні. Прикладами таких елементів на об'єктах енергетичної сфери є головні трансформатори, центри управління, турбіни, генератори тощо.

**Категорія Б** – конструкції та елементи ОКІ, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації ОКІ або до відмови інших елементів ОКІ, які не належать до категорії А, а їх відновлення триває один – три тижні. Прикладами таких елементів є газорозподільчі вузли.

**Категорія В** – конструкції та елементи, відмови яких не призводять до порушення основної функції ОКІ, функціонування інших конструкцій або їхніх елементів, а відновлення триває до одного тижня. Це другорядні газопроводи, лінії електроживлення тощо.

Для деяких елементів ОКІ, наслідки ураження яких досить значні (наприклад атомні реактори, заслінки ГЕС тощо), пропонується також виокремити категорію А із забезпеченням одразу розрахунків і відповідного укриття від прямих влучань відомих і перспективних засобів повітряного нападу противника.

На основі аналізу можливих засобів повітряного нападу противника та результатів їхніх влучань по основних елементах ОКІ [12] запропоновані три типи інженерного захисту елементів ОКІ.

**Тип І** – первинний захист споруд від осколкового ураження та від дії вибухової ударної хвилі в разі вибуху на відстані 15 м від елемента. Пропонуються декілька варіантів конструктивного інженерного рішення первин-

ного захисту елементів ОКІ. Для бічного часткового захисту елементів запропоноване використання пірамідоподібних споруджень з фортифікаційних габіонів, у виключному випадку – із бігбегів, мішків, залізобетонних і металевих збірних елементів. Такий тип захисту є частковим, оскільки не захищає елемент ОКІ зверху. Такі споруди мають протиосколкове призначення в разі фугасного влучання в землю всіх відомих типів ракет або дронів-камікадзе противника на відстані 15 м від елемента. Також до першого типу належать посилення і збільшення живучості існуючих конструкцій будівель та споруд чи внутрішнього устаткування шляхом улаштування металевих кожухів, обкладання цеглою, встановлення додаткових опор.

**Тип ІІ** – укриття типу «шелтер» із зовнішнім захисним решітчастим екраном, який затримує прямі влучання дронів-камікадзе типу баражуючий боеприпас, та внутрішньої захисної оболонки, яка захищає від ударної хвилі та уламків у разі їх вибуху в момент зіткнення з екраном, а також у разі фугасного влучання в землю усіх відомих типів ракет противника на відстані 15 м від елемента.

При цьому захист елементів ОКІ завширшки до 20 м пропонується забезпечувати засипкою стін і покрівлі ґрунтом, а захист елементів завширшки понад 20 м – спеціальними плитами покрівлі. Для великих прольотів також потрібно встановлювати внутрішні колони. Детальніше захисні конструкції даного типу описані у [12]. До другого типу захисту віднесені також внутрішні захисні споруди елементів ОКІ всередині будівель за умов недоцільності зведення загального зовнішнього захисту або коли немає можливості його обладнання.

**Тип ІІІ** – підземна урбанізація ключових елементів ОКІ, покликана захистити від прямого поодинокого влучання в елемент ОКІ всіх відомих типів крилатих та балістичних ракет противника з фугасною чи проникною бойовою частиною.

Пропонуються такі варіанти конструктивного технічного рішення захисту елементів ОКІ із заглибленням (рис. 3). У кожному конкретному випадку мають враховуватися фізико-географічні, гідрогеологічні, кліматичні та інші умови місця зведення захисних споруд.

Аналіз результатів проведених досліджень досвіду побудови системи захисних споруд у провідних країнах світу дав підстави визначити тенденцію застосування компонувальних схем укриття. Так, в Ізраїлі захисні споруди для захисту ОКІ зводяться як поверхневі та частково заглиблені (рис. 3: б, в). При цьому передбачене багатопарове поверхнєве перекриття з різним функціональним призначенням та бічним і поверхневим захистом, проте тільки від дронів-камікадзе та ракет невеликого калібру. У Норвегії захисні споруди ОКІ зводяться переважно з повним заглибленням, зокрема понад 200 гідроелектростанцій (рис. 3: а), а у США та Швеції компонувальні схеми мають комбінований характер. Масштабні підземні проекти (рис. 3: а) переважно військового

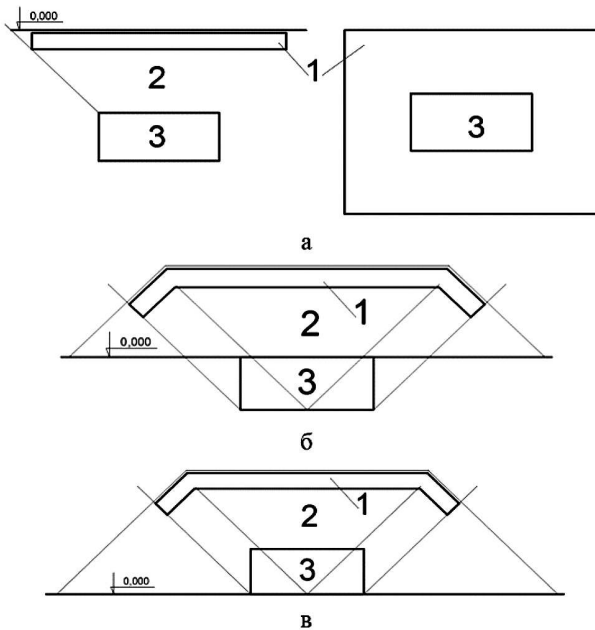


Рис. 3. Варіанти конструктивного технічного рішення захисту елементів ОКІ: а – з повним заглибленням; б – із частковим заглибленням; в – на поверхні:  
1 – залізобетонна оболонка, 2 – розподільча товща ґрунту, 3 – остов захисної споруди ОКІ

призначення реалізовані та продовжують будуватися в Китаї [5].

Під час улаштування захисту кожного елемента ОКІ мають бути враховані, окрім військових загроз, його габарити, технологічні параметри для функціонування та обслуговування, ремонтпридатність, збережуваність.

Для специфічних елементів ОКІ (мостів, тунелів, башт або веж зв'язку, портів тощо) захист має розроблятися індивідуально, беручи до уваги їхні особливості.

З метою реалізації розробленої концепції інженерного захисту ОКІ запропоновані три варіанти, різні за своєю тривалістю. Тип захисту, який реалізується за кожним з варіантів за етапами, відповідно до категорії важливості елементів ОКІ, наведений у таблиці 1.

Результати аналізу одержаного досвіду ураження ОКІ енергетичної галузі України свідчить, що в умовах відсічі широкомасштабній агресії доцільною є паралельна реалізація всіх трьох варіантів для різних об'єктів

Таблиця 1

№	Категорія тривалості реалізації	Тип захисту для категорій елементів ОКІ		
		А	Б	В
1	Малої тривалості (до одного місяців)	I	I	-
2	Середньої тривалості (до року)	II	I	-
3	Довготривалі (2–5 років)	III	II	I

залежно від їхньої специфіки. При цьому будь-яка затримка в інженерному обладнанні, безперечно, призводить до зниження рівня інженерного захисту, а отже, до збільшення ймовірності ураження ОКІ енергетичної галузі України.

Для України на першому етапі розвитку ситуації всередині держави з урахуванням техніко-економічних показників доцільним може бути застосування первинного інженерного захисту I типу елементів ОКІ електроенергетичної системи пострадянського періоду та часткового захисту ОКІ газотранспортної системи й нафтовидобувної промисловості за II типом інженерного захисту. При цьому для новітніх ОКІ енергетичної галузі України доцільно зводити інженерні споруди III типу в наземній компоновці укриттів, приклад якої наведений на рисунку 4. Це пов'язано передусім з високим рівнем ґрунтових вод на переважній частині території України та з труднощами, які можуть виникнути в подальшому під час експлуатації вказаних об'єктів енергетичної галузі.

**Висновки.** Для впровадження концепції побудови перспективної системи інженерного захисту ОКІ енергетичної галузі вже здійснено низку організаційно-технічних заходів. Зокрема, розроблені форми чек-листів і паспорта захисту ОКІ з визначенням їхніх елементів за категоріями відповідальності. Триває процес збирання інформації для наповнення єдиного реєстру ОКІ відповідно до вимог [9] та їхніх елементів. Здійснюється впровадження дієвої системи зворотного зв'язку, зокрема передбачається централізований аналіз пошкоджень елементів ОКІ при різних параметрах фактичних влучань, із захистом та без нього. Це дасть змогу виявляти слабкі місця об'єктів, удосконалювати їхній захист та уточнювати технічні засоби повітряного нападу противника.

Перспективним напрямом є організація спеціальної інформаційної системи, яка динамічно розглядатиме параметри ОКІ, зокрема їхні категорії критичності, що дасть змогу проектувати та обґрунтовувати ефективні технічні рішення з інженерного захисту.

Реалізація запропонованої концепції сприятиме:

- формуванню єдиного державного системного підходу до інженерного захисту ОКІ;
- налагодженню ефективної взаємодії між усіма суб'єктами інженерного захисту ОКІ енергетичної галузі;
- виробленню єдиного механізму організації заходів інженерного обладнання, проектування та будівництва інженерних споруд з урахуванням технологічних вимог енергетичної галузі;
- поетапному переходу до інженерного захисту критичної інфраструктури з підземною урбанізацією та пристосування технологій відповідних виробничих процесів;
- мінімізації наслідків масованих ударів засобів повітряного нападу противника по об'єктах критичної інфраструктури;

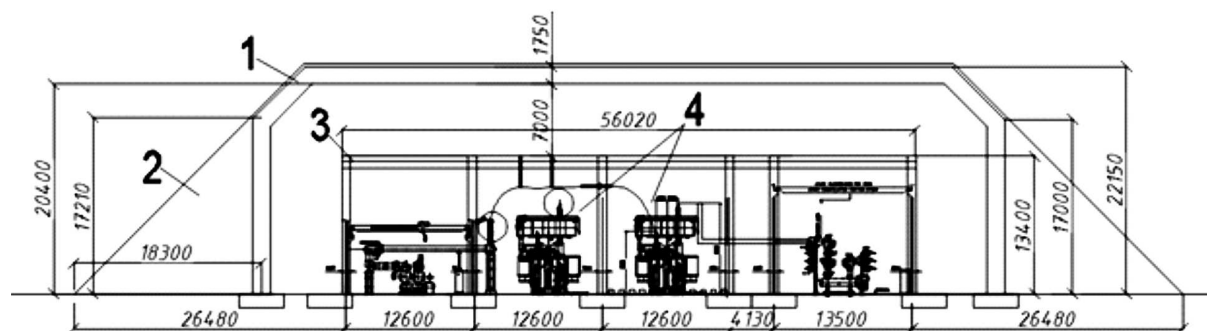


Рис. 4. Приклад проекту наземної компоновки елементів інженерного захисту укриття ОКІ енергосистеми:  
1 – залізобетонна оболонка, 2 – розподільча товща або обсыпка,  
3 – остов захисної споруди ОКІ, 4 – елементи ОКІ, які захищаються

• забезпеченню стійкого функціонування енергетичної системи України в умовах зовнішніх негативних впливів з боку противника.

Як напрям подальших досліджень може бути обране проведення математичного моделювання, експериментальних досліджень параметрів інженерного захисту елементів ОКІ від різного характеру засобів ураження. Крім того, подальшим розвитком технічної реалізації інженерного захисту ОКІ повинні стати розробка та впровадження інженерних активних засобів захисту, наприклад інженерних боеприпасів для ураження повітряних цілей противника, що низько летять та рухаються на відносно невеликих швидкостях.

#### Перелік літератури

1. Залужний В. Перспективи забезпечення воєнної кампанії 2023 року: український погляд [Електронний ресурс] / В. Залужний, М. Забродський // Укрінформ. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3566162-ak-zabezpechiti-voennu-kampaniu-u-2023-roci-ukrainskij-poglad.html>.
2. Єрменчук О. П. Основні підходи до організації захисту критичної інфраструктури в країнах Європи: досвід для України: монографія / О. П. Єрменчук. – Дніпро: ДДУВС, 2018. – 180 с.
3. Методичні рекомендації до самостійної роботи, проведення практичних занять із дисципліни «Інженерний захист населення та території»: для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання за спеціальністю 263 – Цивільна безпека, освітня програма «Цивільний захист» / уклад. А. С. Рогозін, О. М. Росоха. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 77 с.
4. Трофименко П. Є. Основи інженерної підготовки, тактичного маскування та радіаційного, хімічного і біологічного захисту в артилерійських підрозділах: підручник / П. Є. Трофименко, Г. В. Сорокоумов, Л. С. Демидко. – Суми: СумДУ, 2021. – 266 с.
5. Use of Underground Facilities to Protect Critical Infrastructures [Електронний ресурс]: Summary of a Workshop / National Research Council. – Washington, DC: The National Academies Press, 1998. – Режим доступу: <https://doi.org/10.17226/6285>.
6. Critical Foundations: Protecting America's Infrastructures: The Report of the President's Commission on Critical Infrastructure Protection / President's Commission on Critical Infrastructure Protection. – [Washington, DC: PCCIP], 1997. – 192 p.
7. Baker G. H. Applications of Underground Structures for the Physical Protection of Critical Infrastructure / G. H. Baker, R. G. Little, D. A. Linger // North American Tunneling 2002: Proceedings of the NAT Conference, Seattle, 18–22 May 2002 / Edited by L. Ozdemir. – Lisse: A. A. Balkema, 2002. – P. 333–340.
8. Carter B. China Begins Construction of its First Underground Research Laboratory for High Level Waste Disposal [Електронний ресурс] / B. Carter, G. Nieder-Westermann // IAEA. Режим доступу: <https://www.iaea.org/newscenter/news/china-begins-construction-of-its-first-underground-research-laboratory-for-high-level-waste-disposal>.
9. Про критичну інфраструктуру [Електронний ресурс]: Закон України № 1882-IX від 16 листопада 2021 р. // Верховна Рада України. Законодавство України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>.
10. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2–14:2018 / Мінрегіон України, УкрНДІпроектстальконструкція. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 30 с.
11. Moteff J. D. Critical Infrastructure Resilience: The Evolution of Policy and Programs and Issues for Congress: CRS Report for Congress / J. D. Moteff. – [Washington, DC], Congressional Research Service, 2012. – 24 p.
12. Коцюруба В. І. Методика розрахунків та обґрунтування вимог до інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури від БпЛІА типу баражуючий боеприпас / В. І. Коцюруба, А. С. Білик, А. О. Веретнов // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2022. – № 109. – С. 164–183.